



Serie Proyectos de Investigación e Innovación

Superintendencia de Seguridad Social
Santiago - Chile

INFORME FINAL

Desarrollo de una App móvil para optimizar la vigilancia de salud auditiva

Carlos Rodríguez-Sickert
2020





SUPERINTENDENCIA DE SEGURIDAD SOCIAL

SUPERINTENDENCE OF SOCIAL SECURITY

La serie Proyectos de Investigación e Innovación corresponde a una línea de publicaciones de la Superintendencia de Seguridad Social, que tiene por objetivo divulgar los trabajos de investigación e innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades del Trabajo financiados por los recursos del Seguro Social de la Ley 16.744.

Los trabajos aquí publicados son los informes finales y están disponibles para su conocimiento y uso. Los contenidos, análisis y conclusiones expresados son de exclusiva responsabilidad de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente la opinión de la Superintendencia de Seguridad Social.

Si requiere de mayor información, sobre el estudio o proyecto escriba a: investigaciones@suseso.cl.

Si desea conocer otras publicaciones, artículos de investigación y proyectos de la Superintendencia de Seguridad Social, visite nuestro sitio web: www.suseso.cl.

The Research and Innovation Projects series corresponds to a line of publications of the Superintendence of Social Security, which aims to disseminate the research and innovation work in the Prevention of Occupational Accidents and Illnesses financed by the resources of Law Insurance 16,744.

The papers published here are the final reports and are available for your knowledge and use. The content, analysis and conclusions are solely the responsibility of the author (s), and do not necessarily reflect the opinion of the Superintendence of Social Security.

For further information, please write to: investigaciones@suseso.cl.

For other publications, research papers and projects of the Superintendence of Social Security, please visit our website: www.suseso.cl.

Superintendencia de Seguridad Social
Huérfanos 1376
Santiago, Chile.

Informe final

PROYECTO
Desarrollo de una App móvil para optimizar la
vigilancia de salud auditiva en las empresas
según protocolo PREXOR buscando
augmentar la cobertura y vigilancia
ACHS 212-2017

Proyecto de investigación e innovación tecnológica en prevención de
accidentes del trabajo y enfermedades profesionales ley n° 16.744

Investigador principal: Carlos Rodríguez-Sickert
Centro de investigación en Complejidad Social
Universidad del Desarrollo
Agosto 2019

Este trabajo fue seleccionado en la Convocatoria de Proyectos de Investigación e Innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades Profesionales 2019 de la Superintendencia de Seguridad Social (Chile) y fue financiado por la Asociación Chilena de Seguridad, a través de la Fundación Científica y Tecnológica (FUCYT-ACHS), con recursos del Seguro Social de la Ley N°16.744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales.

Tabla de contenido

Introducción:	2
Marco Teórico:	3
Cuerpo normativo respecto la exposición al ruido en Chile.....	5
Ciclo de vigilancia de la salud auditiva.....	6
Proceso de Audiometría	7
Metodología:	10
Fase 1 Levantamiento de información para el diseño y construcción de la aplicación y plataforma web de administración y gestión de la aplicación	10
Fase 2 Desarrollo de la tecnología y testeo en laboratorio.....	11
Fase 3 Testeo de la tecnología en condiciones reales no experimentales.....	13
Consideraciones técnicas sobre los instrumentos.....	14
Resultados	17
a. Diseño y programación de la aplicación Salud Auditiva y Plataforma web de administración y gestión de la aplicación	17
b. Análisis estadísticos desempeño Sistema 1 y Sistema 2 en condiciones experimentales	26
c. Análisis estadísticos desempeño Sistema 1 y Sistema 2 en condiciones de terreno no experimental.....	28
d. Resultados de la evaluación cualitativa de la aplicación.....	33
Limitaciones, posibilidades de mejora y escalamiento	36
Conclusiones.....	38
Bibliografía.....	40
Anexos	41
Anexo 1 Estándar Arquitectura de Aplicación Salud Auditiva	41
Anexo 2 Instrucciones Procedimiento Audiometría.....	41
Anexo 3 Manual de Usuario Aplicación Salud Auditiva	41
Anexo 4 Propuesta Validación Sistema 1 y 2.....	41
Anexo 5 Datos audiometría de trabajo de campo.....	41

Introducción:

Cualquier persona que se expone de forma constante a ruido agudo y por tiempo prolongado puede desarrollar sordera con el paso del tiempo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) más del 5% de la población mundial (466 millones de personas) tiene pérdida de audición discapacitante, es decir, tiene una pérdida de audición superior a 40dB en el oído en el caso de los adultos. Y calcula que para el año 2050 una de cada diez personas va a tener pérdida auditiva (Organización Mundial de la Salud, 2019) ya sea por causas genéticas, enfermedades infecciosas, exposición al ruido excesivo y/o el envejecimiento. Por lo que su identificación temprana e intervención oportuna ha cobrado gran relevancia para su tratamiento, ya que muchas personas viven a diario sin darse cuenta que van perdiendo paulatinamente la audición de ciertas palabras, sonidos y ruidos.

En efecto, la hipoacusia o sordera ocupacional es una de las enfermedades laborales más frecuentes y que puede provocar un daño irreparable en la audición. En Chile, los datos siguen la tendencia mundial. Según el Informe Anual de Estadísticas sobre Seguridad y Salud en el Trabajo de la Superintendencia de Seguridad Social respecto de las denuncias calificadas como enfermedad profesional durante el año 2017, el 7% de ellas fueron diagnósticos audiológicos, relacionados al efecto del ruido sobre el oído interno, donde el 60% de las denuncias de hombres son calificadas como laborales, mientras que en mujeres alcanza un 19% (Superintendencia de Seguridad Social CHILE , 2018).

En este contexto, los organismos administradores de la ley tienen un rol fundamental respecto los procesos de vigilancia de la salud, asociadas al ruido existente en los puestos de trabajo de las personas, desde fábricas e industrias, así como también en el área de servicios.

No obstante, existen también una serie de dificultades para poder abarcar con efectividad a todos los trabajadores expuestos a factores de riesgo, en cuanto a la realización de evaluaciones, diagnósticos y seguimiento de control de la condición auditiva individual. En efecto, existe una gran cantidad de trabajadores que se exponen a diario a ambientes laborales con altos índices de ruido, y que no siempre toman las medidas adecuadas de protección para evitar tener daño auditivo.

Por esta razón, el presente proyecto busca desarrollar tecnología aplicada para generar un aporte en la gestión de la prevención y vigilancia en el área de la salud auditiva, con el fin de aumentar la eficiencia del proceso. Con ello se desarrolló una herramienta que permite a los profesionales de salud realizar evaluaciones en terreno mediante un Tablet e ingresar los datos del trabajador de manera individual, sistematizando la información en una base de datos central, y ayudando en la gestión y asignación de visitas a empresas con la información de sus respectivos trabajadores.

Marco Teórico:

Técnicamente la hipoacusia o sordera se define como la disminución de la capacidad auditiva por encima de los niveles definidos como normales (CIE-10: H919). Esta condición puede producirse por una serie de factores, sin embargo, la exposición ocupacional prolongada a niveles de ruido es una de las principales causas en los adultos, y genera un trauma acústico crónico con compromiso predominantemente sensorial por lesión de las células ciliadas externas llamada también Hipoacusia Sensorineural Laboral HSNL (Ministerio de Salud Gobierno de Chile, 2011). Esta condición es preocupante ya que es permanente e irreversible, afectando la capacidad de comunicación del individuo en todos sus ámbitos de la vida, lo que repercute en un posible aislamiento social.

De acuerdo a datos del Sistema Nacional de Información de Seguridad y Salud en el Trabajo SISESAT, los cinco diagnósticos más comunes referidos a denuncias calificadas como enfermedades profesionales con alta inmediata, corresponde a trastornos de adaptación (salud mental, 18%), hipoacusia no especificada (audiológicas, 16%), dermatitis de contacto, forma y causa no especificadas (dermatológicas, 8%), efectos del ruido sobre el oído interno (audiológicas, 7%), y disfonía (otras patologías, 6%) (Superintendencia de Seguridad Social, 2018).

Por otro lado, se observan diferencias considerables en el diagnóstico de enfermedades de origen ocupacional según sexo (ver *Ilustración 1*). Del total de las denuncias por enfermedades audiológicas realizadas en el año 2018, en el caso de los hombres, el 60% califican como laboral, mientras que en el caso de las mujeres un 19% (Superintendencia de Seguridad Social, 2018).

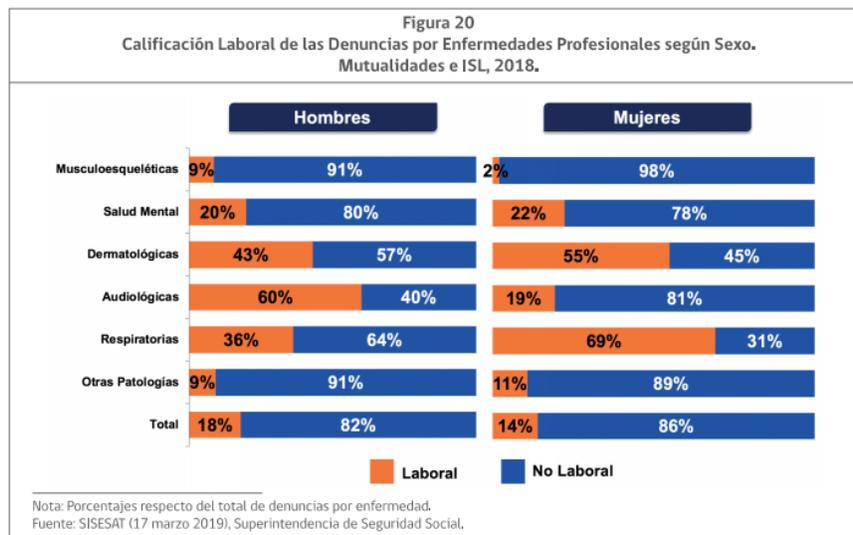


Ilustración 1 Calificación Laboral de las Denuncias por Enfermedades Profesionales

Respecto a las enfermedades calificadas como profesionales (ver *Ilustración 2, izquierda*), en el caso de los hombres, el 14% de las enfermedades diagnosticadas en el año 2018 corresponden a trastornos audiológicos, ocupando el tercer lugar de prevalencia. En el primer lugar se encuentran las enfermedades relacionadas con la salud mental (43%), seguidas por enfermedades músculo esqueléticas (28%). En el caso de las mujeres, destacan otras patologías, no presentando prevalencia las enfermedades audiológicas (Superintendencia de Seguridad Social, 2018).

Por otra parte, respecto las enfermedades profesionales calificadas con alta inmediata en el 2018 (ver *Ilustración 2, derecha*), para el caso de los hombres, el 50% correspondieron a enfermedades audiológicas, seguido por enfermedades músculo esqueléticas (12%) y enfermedades relacionadas a la salud mental (14%). En el caso de las mujeres, solo el 1% de las enfermedades profesionales calificadas con alta inmediata en el 2018 correspondieron a patologías audiológicas (Superintendencia de Seguridad Social, 2018).

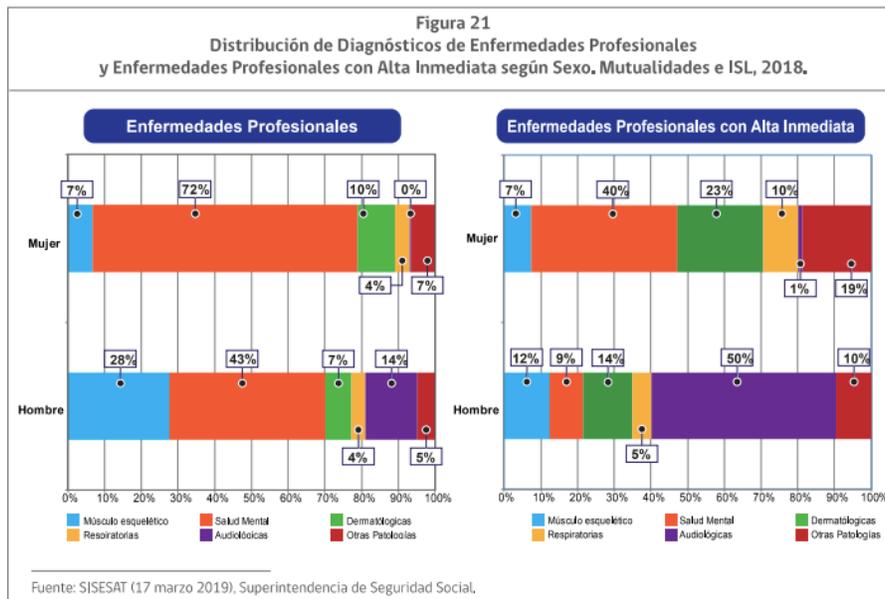


Ilustración 2 Distribución de Diagnósticos de Enfermedades Profesionales y Enfermedades Profesionales con Alta Inmediata según sexo

Lo anterior refleja la urgencia del problema, ya que existe una evidente prevalencia de trastornos relacionados con la audición en los trabajadores, afectando principalmente a hombres. No obstante, es importante recordar que si bien la pérdida de la audición es una condición discapacitante, su prevención y tratamiento oportuno es crucial para no llegar a la pérdida de audición total de uno o los dos oídos. En efecto, la hipoacusia laboral se produce en forma gradual, como consecuencia de la exposición a niveles perjudiciales de ruido –de tipo continuo o intermitente– en el lugar de trabajo durante un tiempo prolongado. Por ende, a diferencia de otras dolencias, la hipoacusia puede ser mitigada con una debida

detección y atención oportuna. Según Hernández y Gutiérrez si el daño es detectado en la fase I o de instalación, donde se produce un incremento del umbral cercano a los 30-40 dB en la frecuencia de 4kHz, el daño puede ser revertido en su totalidad en pocos días; mientras que ya en la fase II o de latencia, donde “el déficit en los 4 kHz se mantiene estable, ampliándose a las frecuencias vecinas en menor intensidad e incrementándose el umbral entre 40-50 dB” ya no es posible revertir el daño, pero sí frenarlo antes de alcanzar el compromiso de la comprensión del habla (Gutiérrez, 2006).

Considerando estos antecedentes –la alta prevalencia de la enfermedad, así como su silenciosa progresividad- y el alto costo económico y social tanto para las administradoras de seguros, como para los trabajadores que ven disminuidas sus capacidades, afectando su vida laboral y social de forma irreparable, es que resulta imperativo el desarrollo de recursos y herramientas que faciliten el control, la prevención y detección temprana de esta enfermedad.

Cuerpo normativo respecto la exposición al ruido en Chile

En Chile existen distintas normas y decretos que rigen el tratamiento de temas de seguridad y salud laboral, involucrando en éstas a diversos actores como empleadores, trabajadores, los organismos administradores de la Ley N° 16.744. Estos últimos tienen la responsabilidad de fiscalizar el cumplimiento de las exigencias, sancionar eventuales incumplimientos, e interpretar y normar las regulaciones; ser garantes de las atenciones médicas y de la protección económica de quienes sufran accidentes del trabajo y enfermedades profesionales; e implementar instrumentos para promover la prevención de accidentes y enfermedades de origen laboral (Comisión Asesora Presidencial para la Seguridad en el Trabajo, 2010).

En particular el D.S. N°594/99 del MINSAL establece las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. En su Título IV, Párrafo III, artículos N° 70 al N° 82, se precisa que la exposición a los niveles de ruido en ambientes laborales debe ser controlada en función de la duración de la jornada laboral, de modo que ningún trabajador pueda estar expuesto a niveles de ruido continuo equivalente a 85dB, medidos en la posición del oído del trabajador en su puesto de trabajado, con el fin de reducir el riesgo de una sordera ocupacional. Con ello, se define además que el empleador está obligado a tomar todas las medidas necesarias para limitar la exposición del trabajador a agentes de ruido, y disminuir o mitigar las emisiones de éste, para proteger la salud de sus trabajadores.

Entre los instrumentos desarrollados para el cumplimiento de lo anterior, a partir del año 2011 entra en vigencia un instrumento que ayuda a la estandarización de procedimientos y acciones para la prevención y evaluación del ruido y daño en la salud auditiva de los

trabajadores. El Protocolo de Exposición a Ruido PREXOR, del Ministerio de Salud, tiene como objetivo principal reducir la prevalencia e incidencia de la hipoacusia sensorineural laboral en los trabajadores expuestos a ruido mediante evaluaciones en terreno midiendo los puestos de trabajo dentro de cada empresa. Los resultados obtenidos son comparados con los denominados *criterios de acción*, donde se establecen rangos de valores que indican la implementación de medidas de control de ruido inmediatas, destinadas a disminuir la exposición de ruido en los trabajadores, como también para gestionar el Programa de Vigilancia de la Salud, en caso de que corresponda, indicando cuándo es necesario ingresar a un trabajador en riesgo (Ministerio de Salud Gobierno de Chile, 2011).

Asimismo, se distinguen en PREXOR dos ciclos de vigilancia complementarios: ciclo de vigilancia medioambiental del ruido, y ciclo de vigilancia a la salud auditiva. El primero tiene que ver con el nivel de ruido al que están expuestos los trabajadores dentro de su empresa, y la gestión e implementación de un conjunto de medidas de control para disminuir y mitigar la emisión del ruido en un puesto de trabajo. Mientras que el segundo tiene que ver con la vigilancia y detección temprana de enfermedades auditivas en trabajadores expuestos a agentes de ruido en sus lugares de trabajo. En efecto, el protocolo indica que deben ser incluidos en el ciclo de vigilancia todos aquellos trabajadores expuestos a niveles de ruido iguales o superiores a los *criterios de acción* establecidos a continuación:

- Dosis de Acción de 0,5 o 50%: valor que corresponde a la mitad de la dosis de ruido máxima permitida por la normativa legal vigente.
- Nivel de Acción de 82 dB(A): valor equivalente a una dosis de ruido de 0,5 o 50%, para un tiempo efectivo de exposición diario de 8 horas.

En los casos de trabajadores expuestos a ruido impulsivo, el nivel de acción será de 135 dB(C) Perak (División de Políticas Públicas Saludables y Promoción Departamento de Salud Ocupacional, 2011).

Ciclo de vigilancia de la salud auditiva

Existen 4 tipos de procedimientos de audiometrías que se realizan para vigilancia auditiva: audiometría de base, audiometría de seguimiento, audiometría de confirmación, y audiometría de egreso. Las dos primeras se realizan en terreno con un audiómetro portátil, mientras que las dos restantes se realizan con audiómetro de cámara silente. Los sonidos (combinaciones de frecuencias e intensidades específicas) que evalúan cada tipo de audiometría están descritos en la “Guía técnica para la evaluación auditiva de vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos ocupacionalmente a ruido” del Instituto de Salud Pública (ISP). El espectro completo de sonidos contempla frecuencias entre 125 y 8000 Hz, e intensidades entre -10 y 110 dB (Instituto de Salud Pública de Chile, 2017)

Este ciclo es realizado por profesional de la salud quien debe seleccionar en primera instancia

un lugar adecuado dentro de la empresa o industria para la realización de una audiometría basal en el lugar de trabajo de los individuos a evaluar. La audiometría se realiza a cada persona inscrita en la nómina de trabajadores expuestos a niveles de ruido mayor al criterio de acción, definido en el ciclo de vigilancia medioambiental. De acuerdo al PREXOR, si la audiometría basal realizada a un individuo presenta una incapacidad de ganancia (IG) menor al 15%, el trabajador continuará controlándose a través del programa de seguimiento periódicamente sin mayor urgencia. Sin embargo, si el IG es mayor o igual al 15% o el perfil de la curva audiométrica indica una pérdida auditiva no laboral o mixta (laboral y no laboral), este trabajador debe ser derivado a una audiometría de confirmación en cámara silente y continuar con el proceso de evaluación médica (División de Políticas Públicas Saludables y Promoción Departamento de Salud Ocupacional, 2011)

Lo anterior también es complementado con información específica del trabajador que contempla la Ficha Epidemiológica y el Historial Ocupacional. La primera tiene como objetivo recopilar y actualizar datos de identificación del trabajador y antecedentes vinculados a su condición de salud que puedan o no estar relacionados con la hipoacusia. En tanto, el Historial Ocupacional apunta a la recopilación de información del trabajador acerca de su historia laboral, la exposición a agentes de riesgo anterior (ruido, sustancias ototóxicas, etc.). Ambos insumos, junto con los resultados de la audiometría, resultan claves para que el médico de salud ocupacional determine si existe una condición de hipoacusia y si es necesario ingresarlo al programa de vigilancia de la salud auditiva con audiometrías de seguimiento, control o egreso según sea el caso (División de Políticas Públicas Saludables y Promoción Departamento de Salud Ocupacional, 2011)

Proceso de Audiometría

En la Asociación Chilena de Seguridad la vigilancia de la salud de trabajadores expuestos a ruido se realiza de acuerdo a lo establecido en el protocolo PREXOR, velando por la realización del procedimiento de la forma más óptima y eficaz posible. Sin embargo, en la práctica, este procedimiento resulta complejo y tiene diversas aristas y limitaciones que impiden su implementación de forma más eficiente. Por un lado, se tiene una gran cantidad de trabajadores expuestos a niveles de ruido significativo que deben pasar por el programa de vigilancia de salud y evaluaciones audiométricas de tipo basal o de seguimiento, lo que implica una gran demanda de profesionales de la salud en terreno. Éstos deben coordinar con las empresas la realización de estas visitas. No obstante, no siempre dan abasto para evaluar a la gran cantidad de trabajadores incluidos en la nómina en una única visita, teniendo que reprogramar una y otra vez hasta completar el listado de trabajadores a evaluar.

Adicionalmente, el equipamiento utilizado para las audiometrías es de alto costo, de gran tamaño y pesado, y por ende, difícil de transportar. Además requiere que la operación de éste implique el 100% de la atención de la persona que aplica el examen.

Por otro lado, el procedimiento de la evaluación audiométrica en sí mismo toma tiempo. En primera instancia el profesional de la salud en terreno debe completar la Ficha Epidemiológica y de Historial Ocupacional, o actualizar la información según corresponda de manera manual en papel y lápiz, para cada trabajador a evaluar. Sin embargo, esto no siempre se realiza a cabalidad en función del tiempo acotado que dispone la empresa para la realización de la actividad, y la gran cantidad de trabajadores a evaluar. Luego, el profesional de la salud debe explicar al trabajador en qué consiste el procedimiento de la audiometría, informando además acerca hábitos y buenas prácticas de cuidado auditivo y de la relevancia que implica la prevención en estas materias. Con ello, el profesional de la salud le debe explicar y hacer entrega de un documento de Consentimiento Informado para que el trabajador firme. En seguida, el profesional de la salud debe hacer un examen físico revisando los oídos del trabajador con un otoscopio, para descartar la presencia de tapones de cerumen y otras condiciones, ya que éstas imposibilitan una medición audiométrica efectiva. Finalmente, el profesional de la salud le hace entrega de los audífonos al trabajador, dándole las indicaciones para el examen audiométrico, indicándole que debe levantar la mano cada vez que escuche un sonido, procedimiento que se repetirá para ambos oídos. Al realizar el examen, el profesional de la salud va anotando los resultados y haciendo una curva de audición de manera manual. Concluido el examen, el profesional de la salud compara los resultados con mediciones anteriores, en caso de existir, y le hace entrega de una copia de estos resultados al trabajador, explicándole los pasos a seguir según sea el caso.

Posteriormente, el profesional debe traspasar toda la información de cada trabajador recolectada en terreno al sistema de registro en línea donde se almacenan los datos de manera centralizada.

Lo anterior da cuenta que tanto el proceso de audiometrías en terreno con los trabajadores, así como su posterior transcripción de información toma bastante tiempo para los profesionales de la salud, quienes no dan abasto considerando la gran cantidad de población que requiere ser atendida y controlada en función de mejorar la prevención y la detección de condiciones de hipoacusia de forma oportuna.

En función de lo anterior, se propone un proyecto que apunta a mejorar la eficiencia en el proceso de las audiometrías, y el ciclo de vigilancia auditiva mediante el desarrollo de una innovación tecnológica. Se busca facilitar toda la gestión mediante una herramienta dirigida a los profesionales de la salud, que les permita registrar la información recolectada en terreno –considerando la Ficha Epidemiológica, el Historial Ocupacional, y la medición audiométrica- mediante una App tecnológica instalada en Tablets, y una plataforma de

administración de la información que permita la automatización y sistematización de los datos de forma centralizada, así como también la planificación y coordinación de visitas a terreno, y la asignación de profesionales de la salud, empresas y trabajadores en nómina para su vigilancia.

Se espera con esta herramienta de fácil uso y acceso, generar un aporte tecnológico que potencia la eficacia y eficiencia de todo el proceso de la vigilancia de salud auditiva en los trabajadores, facilitando un mayor alcance y cobertura en cuanto al control de trabajadores, reduciendo los tiempos de duración de las evaluaciones en terreno, y facilitar el trabajo de los profesionales de la salud, para que puedan destinar tiempo efectivo a la detección precoz e intervenciones preventivas de enfermedades profesionales como la hipoacusia.

Considerando lo anterior, se estimó proponer como objetivo general de este proyecto desarrollar una aplicación para hacer medición de la capacidad auditiva de los trabajadores en vigilancia y comparar su sensibilidad y especificidad respecto a la audiometría estándar que se realiza en terreno. Para lo anterior, se definieron 6 objetivos específicos:

1. Desarrollar una aplicación para ejecutar una medición de la capacidad auditiva desde un Smartphone.
2. Testear en laboratorio y terreno, la precisión de la aplicación comparada a un Audiómetro tipo 4.
3. Incorporar a la aplicación la función de detección de ruido evaluada en el proyecto "Aplicación en teléfonos inteligentes para el control de gestión de la exposición ocupacional al ruido Apprexor".
4. Incorporar a la aplicación el registro de Fichas Epidemiológicas e Historias Ocupacionales.
5. Testear el desempeño de la app inserta en el ciclo de vigilancia de la salud auditiva.
6. Crear una plataforma web que contenga las bases de datos generadas desde la app para la gestión de la información por parte de los organismos responsables.

Metodología:

El desarrollo del proyecto contempló inicialmente tres fases de trabajo consecutivas, que implicaron metodologías cualitativas y cuantitativas para poder recopilar la información necesaria y abordar de mejor manera los objetivos propuestos:

- Fase 1 Levantamiento de información para el diseño y construcción de la aplicación y plataforma web de administración y gestión de la aplicación
- Fase 2 Desarrollo de la tecnología y testeo en laboratorio
- Fase 3 Testeo de la tecnología en condiciones reales no experimentales

Fase 1 Levantamiento de información para el diseño y construcción de la aplicación y plataforma web de administración y gestión de la aplicación

En esta primera fase del proyecto se redefinieron y priorizaron ciertos objetivos y características de la aplicación. Con ello, se realizó un levantamiento de información acerca del proceso de audiometrías realizadas en terreno y en cámara silente por enfermeras y especialistas ACHS, durante la etapa de diagnóstico y vigilancia de la salud auditiva. En esta instancia se acordó poner énfasis en el desarrollo de la aplicación con la audiometría incluida, dejando en evaluación la eventual incorporación de la aplicación Apprexor, según el avance del proyecto (objetivo específico 3).

Además, se estableció realizar el desarrollo de la aplicación en dispositivos electrónicos de tipo Tablet y no en Smartphone, tal como se indicaba en el proyecto original, ya que el formato Tablet permite una mejor portabilidad, usabilidad y visualización como instrumento para la recolección de información, el ingreso manual de datos del trabajador por parte del especialista (enfermera/o, y/o técnico/a en enfermería), así como también para el diseño de la sección del audiómetro integrada en este dispositivo.

Durante esta fase se realizaron reuniones con actores claves para recopilar antecedentes acerca del proceso de audiometría, complementado con dos ejercicios de observación del procedimiento del examen audiométrico en trabajadores. El primer ejercicio de observación fue del procedimiento de audiometría en cámara silente dentro de las dependencias del Hospital del Trabajador ACHS. Mientras que el segundo fue la observación de audiometría en terreno en dependencias del Teatro de la Universidad de Chile. Ambas experiencias nos permitieron entender y realizar un mejor diseño de la aplicación en función de los contextos en los que se espera que sea útil.

Fase 2 Desarrollo de la tecnología y testeo en laboratorio

En relación a la creación y desarrollo de la aplicación, se sigue la línea de trabajo propuesta en el proyecto basada en la elaboración y desarrollo de tres versiones de la aplicación, las cuales se fueron iterando y corrigiendo paulatinamente con el equipo de investigación del proyecto, así como también con actores claves como enfermeras y especialistas ACHS. Estas tres versiones se denominaron: Aplicación con Características Básicas, Prototipo Funcional, y Versión Beta.

1. Aplicación con Características Básicas:

La versión Aplicación con Características Básicas contempló un ejercicio de narrativa de la aplicación, donde se definieron criterios de usabilidad según el tipo de usuario, destacando dos tipos: a) Perspectiva de usuario de la aplicación en Tablet, dirigida a profesional especialista como enfermera/o y/o técnica/o en enfermería (profesional de la salud); b) Perspectiva del usuario de plataforma web de administración y gestión de la aplicación como jefa/e y/o coordinador de especialista (enfermera/o y/o técnica/o en enfermería). Con ello se definió la interfaz gráfica de la aplicación, incorporando la arquitectura informática, visualización, diseño y propuesta de branding de la aplicación. Así, la aplicación queda compuesta por 3 componentes:

1. Vista de listado de empresas a visitar y calendario de próximas visitas
2. Vista de listado de trabajadores a evaluar por cada visita
3. Evaluación por trabajador, compuesta por 4 secciones: Ficha Epidemiológica e Historia Ocupacional, Examen Físico, Audiometría, y Formulario final.

Por su parte, la plataforma web de administración y gestión de la aplicación dirigida a usuario administrador de la aplicación cuenta con 2 componentes:

1. Registro de empresas a visitar
2. Programación de visitas a empresas y asignación de profesional de salud específico para esta tarea.

2. Versión Prototipo Funcional

El desarrollo de la versión Prototipo Funcional contempló la tarea más compleja de esta tecnología ya que implicó la programación de la sección de la aplicación que emula el funcionamiento de un audiómetro.

Para ello, en primera instancia, se realizaron simulaciones de sonidos a frecuencias y decibeles específicos en distintos dispositivos móviles, para evaluar su desempeño según los respectivos hardwares existentes en el mercado. Esto permitió la selección y compra de los Tablet más adecuados para el proyecto (Lenovo Yoga Tab 3 10”), audífonos de cancelación de ruido, así como también la adquisición de una gama de adaptadores de distintos tipos (certificados, hechos a medida, entre otros). Lo anterior repercutió en la

conformación de 2 sistemas completos para calibrar y testear en el laboratorio como en terreno. Cada sistema quedó conformado por un Tablet, adaptador y audífono con etiquetas identificadoras, no intercambiables denominados Sistema 1 y Sistema 2, respectivamente.

En segunda instancia, se solicitó acceso al Laboratorio de Ruido ACHS para emitir un paquete de sonidos que cumpliera con las condiciones de frecuencias y decibeles acordes a las mediciones audiométricas normadas, con el objetivo de almacenarlos en la aplicación del Tablet del Sistema 1 para su posterior emisión por el mismo Tablet de forma autónoma.

En tercera instancia se dio inicio a la etapa de calibración y verificación de los sonidos almacenados y emitidos por el Tablet del Sistema 1. Lo anterior se materializó en 6 sesiones de trabajo en el laboratorio de ruido en donde se levantó información para la elaboración de los procesos de grabación y verificación objetiva de la calibración de sonidos que emite el Tablet, así como su validación y calibración con audiómetros certificados por ACHS. Se estableció el espectro completo de sonidos a contemplar con frecuencias entre 125 y 8000 Hz, e intensidades entre -10 y 110 dB, y 4 mediciones obligatorias a verificar: nivel auditivo, frecuencia, linealidad, y distorsión armónica. Además, se definieron aspectos técnicos mínimos para la implementación de sonidos en los Tablets.

Como resultado de este trabajo, se logró la calibración y verificación del Sistema 1 completo (Tablet, adaptador y audífonos), incluyendo el oído izquierdo y derecho, aprobando los 4 criterios de verificación para el oído izquierdo y derecho: nivel auditivo, frecuencia, distorsión armónica, y linealidad. Sin embargo, en cuanto a la linealidad, fue imposible lograr el ajuste bajo el límite inferior para cada frecuencia en ambos oídos (calibrar de 70 dB a 0 dB). Por ejemplo, en el oído izquierdo se calibró de acuerdo al siguiente detalle, donde para 1000Hz, solo se pudo ajustar hasta el límite inferior de 15dB, faltando para 10dB, 5dB, y 0dB. Lo mismo para cada una de las frecuencias tal como se detalla abajo:

250 Hz	Se calibró de 70 dB a 5 dB, de 5 en 5 dB.
500 Hz	Se calibró de 70 dB a 10 dB, de 5 en 5 dB.
1000 Hz	Se calibró de 70 dB a 15 dB, de 5 en 5 dB.
2000 Hz	Se calibró de 70 dB a 10 dB, de 5 en 5 dB.
3000 Hz	Se calibró de 70 dB a 15 dB, de 5 en 5 dB.
4000 Hz	Se calibró de 70 dB a 15 dB, de 5 en 5 dB.
6000 Hz	Se calibró de 70 dB a 25 dB, de 5 en 5 dB.
8000 Hz	Se calibró de 70 dB a 15 dB, de 5 en 5 dB.

Para el oído derecho, se obtuvieron calibraciones específicas similares, sin poder calibrar los límites inferiores en cada frecuencia. Por ejemplo, para 250Hz, se calibró hasta 5dB,

quedando sin calibrar el 0dB; en 500Hz no se logró el ajuste para 5dB y para 0dB; y para 1000Hz, no se logró el ajuste para 10dB, 5dB, ni 0dB; y así sucesivamente.

250 Hz	Se calibró de 70 dB a 5 dB, de 5 en 5 dB.
500 Hz	Se calibró de 70 dB a 10 dB, de 5 en 5 dB.
1000 Hz	Se calibró de 70 dB a 15 dB, de 5 en 5 dB.
2000 Hz	Se calibró de 70 dB a 10 dB, de 5 en 5 dB.
3000 Hz	Se calibró de 70 dB a 15 dB, de 5 en 5 dB.
4000 Hz	Se calibró de 70 dB a 15 dB, de 5 en 5 dB.
6000 Hz	Se calibró de 70 dB a 20 dB, de 5 en 5 dB.
8000 Hz	Se calibró de 70 dB a 10 dB, de 5 en 5 dB.

Debido a la complejidad del trabajo de calibración y verificación del Sistema 1, se optó por la programación y el copiado de códigos de emisión de sonidos en el Sistema 2, sin su respectiva calibración y verificación en el laboratorio, debido al tiempo que esto implicó para el Sistema 1 y las limitaciones de uso de laboratorio (27 horas de trabajo aproximadamente).

Finalmente, se elaboró una propuesta de validación estadística para la comparación del desempeño entre los Sistemas 1 (calibrado) y el Sistema 2 (código copiado sin calibración). Para ello se realizaron pruebas audiométricas en condiciones no experimentales con los dos sistemas en 5 sujetos participantes. Luego, se analizaron los resultados obtenidos donde se concluyó que no existe diferencia significativa entre ambos sistemas, por lo que se decide realizar el testeo de ambos sistemas en terreno.

Fase 3 Testeo de la tecnología en condiciones reales no experimentales

Versión Beta

Posterior a los análisis realizados a partir del proceso de validación estadística para la comparación del desempeño entre los dos sistemas, se elaboró una serie de recomendaciones y sugerencias de modificaciones y mejoras para la consolidación de la versión Beta de la aplicación. Luego, se dio paso al periodo de testeo en condiciones no experimentales, para implementar y evaluar el desempeño del Sistema 1 y 2 en al menos 30 trabajadores, de 3 empresas distintas asociadas a ACHS. Para ello, se contactó y gestionó la visita a empresas durante el periodo diciembre 2018 y julio 2019, pudiendo concretar 3 visitas a empresas, logrando evaluar a 23 trabajadores en total. En las 3 instancias se les entregó al representante de la empresa y a los trabajadores una copia del documento de consentimiento informado, y una caja de chocolates como agradecimiento por la participación en el testeo de la aplicación. Las empresas visitadas fueron:

1. Empresa 1 Frioport – Buin, 8 de enero 2019: en esta visita medimos a 10 sujetos con los 2 sistemas de Tablet.
2. Empresa 2 Distribuidora Industrial y Técnica SPA – Quilicura, 15 de enero 2019: en esta visita medimos a 2 sujetos, puesto que se detectan errores importantes en el funcionamiento de ambas Tablet lo que impidió su correcto uso, por lo que no se logra realizar la actividad con éxito. Posterior a eso, se le pidió al equipo desarrollador de la aplicación que solucionara el problema para la siguiente visita e implementara las mejoras recogidas en los terrenos indicadas por los profesionales de la salud.
3. Empresa 3 CMPC – Talagante, 5 de junio 2019: en esta visita medimos a 11 sujetos con los 2 sistemas de Tablet.

A pesar de reiterados intentos por gestionar más visitas a empresas y testar los sistemas en la mayor cantidad de sujetos posible, no se logró concretar ya sea por falta de audiometrías agendadas por las agencias ACHS o por suspensiones de visitas por parte de las empresas.

Una vez finalizado el periodo de testeo de los Tablets en terreno, se realizó el análisis del desempeño de ambos sistemas el cual se detalla en el apartado Resultados.

Consideraciones técnicas sobre los instrumentos

De acuerdo a los objetivos de este proyecto, la aplicación desarrollada en el Tablet cumple con las características para la realización de una audiometría de base. Para ello se dispuso una gama de tonos de prueba que incluyen frecuencias de 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz y 8000 Hz, y niveles de audición que cubran el rango entre 0 y 70 dB HL, de 5 en 5. Es decir, 0 dB, 5 dB, 10 dB, 15 dB, 20 dB, 25 dB, 30 dB, 35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB, 55 dB, 60 dB, 65 dB y 70 dB. Estos sonidos son generados desde el Tablet por medio de un software, que permite emitir señales fidedignas. Para lo anterior se grabó una gama de sonidos en el Tablet, incluyendo todas las combinaciones frecuencia-intensidad indicadas anteriormente.

Para el procedimiento de calibración del Sistema 1, los sonidos grabados fueron normalizados con cero relativos, una conversión entre decibeles psicoacústicos (HL) y decibeles físicos (SPL), pues la guía técnica del ISP entrega las intensidades en decibeles HL y los equipos se calibran en decibeles SPL. Para hacer esta conversión, se trabajó con la norma ISO 389-1 del año 2017 que establece los cero relativos en decibeles SPL, para cada frecuencia (Hz) y para los audífonos que se utilizará en las audiometrías (ver Tabla

1). La intensidad en decibeles SPL descrita en la tabla corresponde a cero decibeles HL, la intensidad mínima a la que una persona puede empezar a escuchar el sonido.

Tabla 1: Recommended reference equivalent threshold sound pressure levels in a coupler complying with IEC 63303. Model of earphone: Telephonics TDH 39a with MX41/AR (or model 51) cushion.

Frecuency (Hz)	RETSPL (dB) (Reference: 20uPa)
125	45
160	37,5
200	31,5
250	25,5
315	20
400	15
500	11,5
630	8,5
750	7,5
800	7
1000	7
1250	6,5
1500	6,5
1600	7
2000	9
2500	9,5
3000	10
3150	10
4000	9,5
5000	13
6000	15,5
6300	15
8000	13

Teniendo los sonidos en los Tablets, se realiza en dependencias del Laboratorio ACHS la verificación objetiva de la calibración de audiómetro, lo que incluye 4 mediciones, de las cuales la primera y segunda son obligatorias por ISP (1 y 2), y las dos restantes son adicionales recomendadas por ACHS (3 y 4):

- 1) Nivel auditivo (intensidad de la señal)
- 2) Frecuencia ($\pm 2,5\%$)

- 3) Linealidad (evaluación de 5 en 5 dB)
- 4) Distorsión armónica (comprobar que genere la señal)

Los audífonos para el procedimiento de audiometrías normadas constan de tres componentes: fonos, cintillos y audiocupos. Por lo cual, se compraron todos los componentes para que el proceso implementado con el Tablet sea igual al que se realiza en ACHS. Para ello se adquirió dos pares de audífonos marca Telephonics, código TDH39. Sin embargo, estos audífonos tienen 2 conexiones plug de 6,3 (una para cada oído), mientras que el Tablet tiene solo una entrada de 3,5. Por lo tanto, fue necesario comprar adaptadores que permitan conectar el sistema. Luego de probar con distintas opciones y modelos, se mandaron a hacer adaptadores a medida que conectaran los Tablets con los audífonos, conformando así los sistemas 1 y 2.

Resultados

En este apartado se exponen los resultados de este proyecto los cuales se dividen en desarrollos o productos tecnológicos, y en información desprendida del análisis obtenido tras la aplicación de los productos generados.

Respecto al desarrollo o productos tecnológicos, se detalla información acerca de la aplicación Salud Auditiva, dirigida al usuario profesional de salud en terreno (enfermera/o, y/o técnico/a en enfermería), instaladas en los Sistemas 1 y 2. Luego, se presenta la información respecto a la plataforma web de administración y gestión de la aplicación dirigida a usuario administrador jefa/e y/o coordinador de especialistas, al cual se puede acceder mediante cualquier dispositivo móvil con conexión a internet.

Posteriormente, se presentan los resultados obtenidos luego del análisis de desempeño de los Sistemas 1 y 2 tanto en condiciones experimentales como en terreno.

a. Diseño y programación de la aplicación Salud Auditiva y Plataforma web de administración y gestión de la aplicación

Arquitectura de la aplicación

Salud Auditiva está compuesta de dos aplicaciones: el panel de administración y la aplicación en Tablet. El panel de administración está pensado para ser utilizado por la/el enfermera/enfermero jefe, quien gestiona la información sobre la planificación de audiometrías en empresas (coordinación de fechas, nombre de empresas, número de trabajadores a visitar, asignación enfermera/o, y/o técnica/o en enfermería, entre otras). Mientras que la aplicación instalada en los Tablet de los Sistema 1 y 2, tiene como objetivo gestionar las visitas a realizar para cada enfermera/o, y/o técnica/o en enfermería en terreno.

Se implementó una arquitectura de microservicios, desarrollados con el lenguaje Elixir y Javascript para la programación BackEnd, con la siguiente estructura:

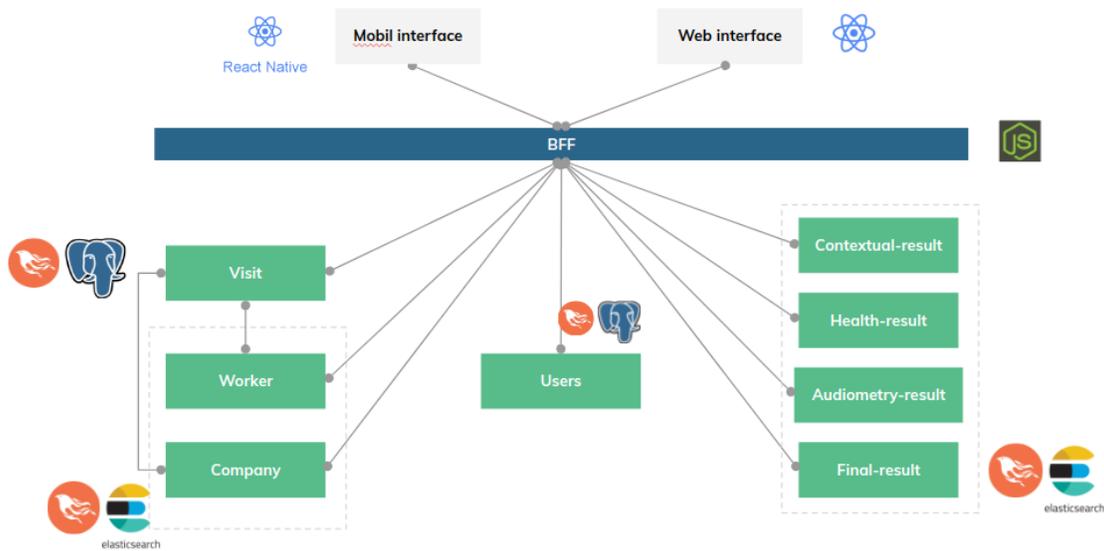


Ilustración 3 Arquitectura Salud Auditiva

Funcionalidades de Plataforma web de administración y gestión de la aplicación

- Registro y autenticación de usuarios en el sistema: corresponde al sistema de registro de un nuevo usuario o ingreso para usuario ya registrado por medio de una cuenta de correo electrónico y una contraseña exclusiva para la plataforma.
- Administración y gestión de 4 secciones de la plataforma:
 - Sección Usuarios, referido a los enfermera/os, y/o técnica/os en enfermería a los cuales se les asigna una visita en terreno (profesional de la salud). En esta sección se permite la creación de usuarios con su información personal respectiva como nombre completo, rut, fecha de nacimiento y tipo de usuario (administrador o enfermero), mail y la asignación de una contraseña para que dicho usuario pueda acceder a una sesión en la aplicación del Tablet. También permite la realización de búsqueda, edición y eliminación de usuarios específicos.
 - Sección Empresa, referida a las empresas para asignar visitas para la realización de audiometrías. En esta sección se permite la creación de Empresas con su información respectiva como nombre, dirección, comuna, provincia, y región. También permite la realización de búsqueda, edición y eliminación de Empresas específicas.
 - Sección Visitas, referida a las visitas a empresas para la realización de audiometrías en los trabajadores. Esta sección permite crear visitas y asignarlas

Informe ACHS 211-2017, marzo 2019

a Usuarios (enfermera/os, y/o técnica/os en enfermería), y a Empresas previamente creados. Además, se solicita indicar fecha y hora de la audiometría programada, y asignar el nombre de todos los trabajadores a evaluar, con su respectiva información personal (nombre completo, rut, fecha de nacimiento y género). En esta sección está la posibilidad de buscar un trabajador ya existente en el sistema por su rut o su nombre, de manera que si hay coincidencias en la búsqueda, la información se autocompleta. Toda esta información quedará disponible y accesible para el Usuario (enfermera/os, y/o técnica/os en enfermería) al momento de iniciar sesión en el Tablet. Además, la sección Visitas permite ver el listado de visitas creadas (por realizar) e históricas (visitas ya realizadas), así como también editar y eliminar visitas.

- Sección Datos, se dejó creada como funcionalidad con potencial desarrollo en otra oportunidad, tal como se acordó durante el transcurso del proyecto.

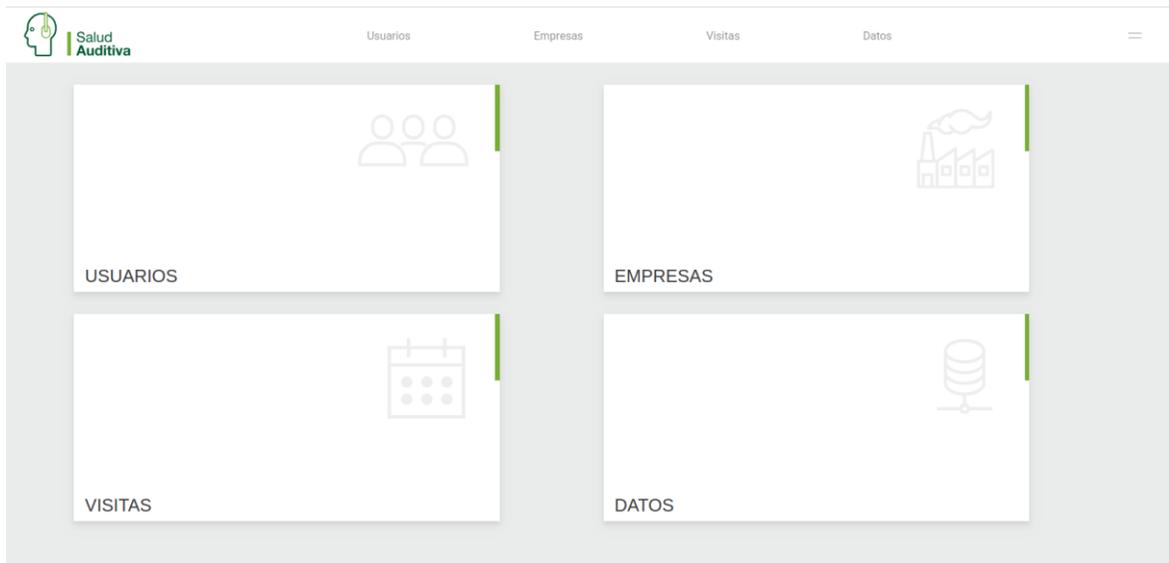


Ilustración 4 Vista Principal de Plataforma web de administración

Funcionalidades de Aplicación Salud Auditiva en Tablet

- Registro y autenticación de usuarios en la app del Tablet: corresponde al sistema de ingreso para usuario ya creado por medio de una cuenta de correo electrónico y una contraseña exclusiva para la plataforma.
- Vista de listado de Visitas asignadas por el usuario Administrador (sección anterior) y de Visitas Históricas correspondientes a las ya implementadas, y Visitas pendientes o por realizar.

- Buscador de Visita por nombre de Empresa y orden de listado de visita según distintos criterios: fecha, nombre empresa, número de trabajadores.
- Vista de datos básicos de visita específica, para acceder a la información de los datos básicos de la Empresa, y el listado de trabajadores asignados, clasificados en 4 estados posibles:
 - Por evaluar, respecto aquellos trabajadores que aún no han sido evaluados.
 - En evaluación, respecto aquellos trabajadores que están siendo evaluados en ese momento, y que no han terminado de completar la evaluación.
 - Evaluados, respecto aquellos trabajadores que han completado todos los formularios y el examen audiométrico.
 - Cancelados, respecto aquellos trabajadores que por alguna razón de fuerza mayor, no pudieron terminar su evaluación, o no se presentaron al momento de la evaluación con el profesional de la salud.
- Realización de evaluación, compuesta por 4 secciones:
 - Sección Ficha Epidemiológica
 - Sección Examen Físico
 - Sección Audiometría
 - Sección Formulario Final



Ilustración 5 Vista de App Salud Auditiva sección Evaluación

Especificaciones Aplicación Salud Auditiva en Tablet

Tal como se indicó anteriormente la evaluación está compuesta por 4 secciones diseñadas y adaptadas en base a los formularios oficiales para la realización de los procedimientos de audiometría de cámara y de terreno que utilizan los profesionales ACHS. Además se perfeccionó cada apartado en base a las recomendaciones y sugerencias que se obtuvieron en las observaciones en terrenos así como también de las conversaciones con enfermeras/os, y técnicas/os en enfermería, así como otros actores claves en todo el desarrollo de este proyecto. A continuación se detalla cada sección:

Sección Ficha Epidemiológica: en esta sección se solicita al trabajador información personal, se consulta acerca de exposición periódica al ruido y a componentes ototóxicos, uso de fármacos, antecedentes mórbidos, uso de elementos de protección personal, entre otros.

The screenshot displays a multi-page form titled 'Ficha Epidemiológica'. The visible sections include:

- Personal Information:** Fields for Dirección (Calle Padre Hurtado 509), Región (Metropolitana d...), Provincia (Santiago), Comuna (Santiago), Teléfono (2555555), Celular (569 83838383), Email (a@a.com), Puesto de trabajo (Soldador), Años en el puesto (3), and Escolaridad (Enseñanza media).
- Exposición periódica al ruido:** Checkboxes for Caza, Discoteca, Reproductor musical (audífonos), Motorismo, and Uso de armas.
- Exposición laboral ototóxicos:** Checkboxes for Tolueno, Xileno, Estireno, Plomo, Mercurio, and Monóxido de carbono.
- Uso de fármacos ototóxicos:** A question '¿Cuál?' with a 'Respuesta' field.
- Antecedentes mórbidos:** Checkboxes for Hipertensión, Diabetes, and ¿Otro? with a 'Respuesta' field.
- ¿Fuma? ¿Cuanto?:** Radio buttons for No (selected) and Si, with a 'Respuesta' field.
- ¿Alcohol?:** Checkboxes for Vaso, Lata, and Botella, each with a quantity field.
- Elementos de protección personal (EPP) ¿Cuál?:** Radio buttons for No (selected) and Si, with a 'Respuesta' field.
- ¿Existe programa de mantención y recambio del material de protección que usa?:** Radio buttons for No (selected) and Si, with a 'Respuesta' field.
- Capacitación:** A checkbox for 'Cuenta con capacitación formal asociada al riesgo (ruido)' and a date field for 'Consejería de vigilancia' (05/06/2018).
- Registro de evaluación de salud:** Checkboxes for Tinnitus (pito en el oído), Vértigo (mareos), Otitis (dolor de oído), Otorragia (sangrado de oído), Otorrea (purulencia de oído), and ¿Otro? ¿Cuál? with a 'Respuesta' field.

Ilustración 6 Vista de Sección Ficha Epidemiológica

Sección Examen Físico: en esta sección la/el enfermera/os, y/o técnica/os en enfermería debe ingresar la información según el examen físico que le realiza a cada trabajador.

CAE derecho

Normal

Tapón de cerumen parcial

Tapón de cerumen total

CAE izquierdo

Normal

Tapón de cerumen parcial

Tapón de cerumen total

Membrana timpánica

Derecha

Normal

Alterado

Izquierda

Normal

Alterado

Tipo de audiometría

Base

Seguimiento

Egreso

Confirmación

Enviar

Ilustración 7 Vista de Sección Examen Físico

Sección Audiometría: en esta sección la/el enfermera/os, y/o técnica/os en enfermería debe realizar el procedimiento de la audiometría con el Tablet, con los mismos cuidados y precauciones que se tienen al momento de realizar el procedimiento con un audiómetro normado. Le debe indicar al trabajador evaluado que se ponga los audífonos y que levante la mano si escucha un sonido a través de ellos. Luego, el/la profesional de la salud debe seleccionar el oído a medir (izquierdo o derecho) y comenzar con el procedimiento de audiometría con el Tablet, en un formato similar al que se realiza con un audiómetro normado. Se debe seleccionar la frecuencia y una intensidad. Las frecuencias a evaluar parten de los 500 Hz pasando por los 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 y 8000 Hz. Mientras que las intensidades cubren un rango entre 0 y 70 dB, de 5 en 5. Si el trabajador escucha el sonido que emite el Tablet, debe marcar el botón Escuchó, y aparecerá en la frecuencia correspondiente un ticket. En caso de que el trabajador no escucha ningún sonido, pasando por todo el rango de las intensidades, se debe marcar el botón No Escuchó.

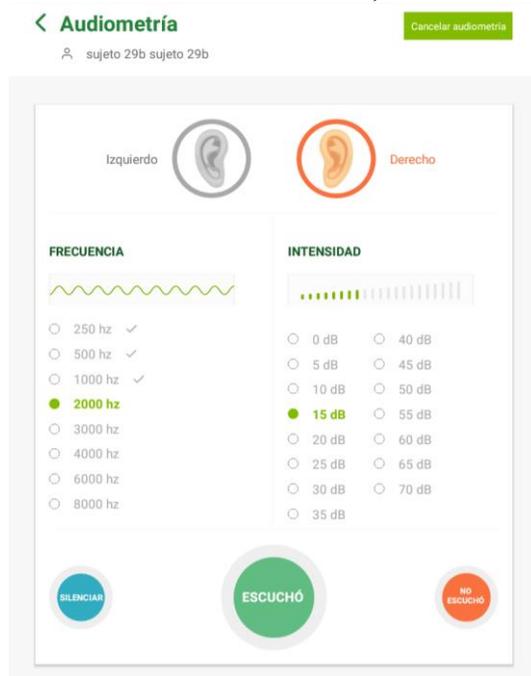


Ilustración 8 Vista de Sección audiometría oído derecho sin medición (imagen izquierda) y oído derecho midiendo (imagen derecha).

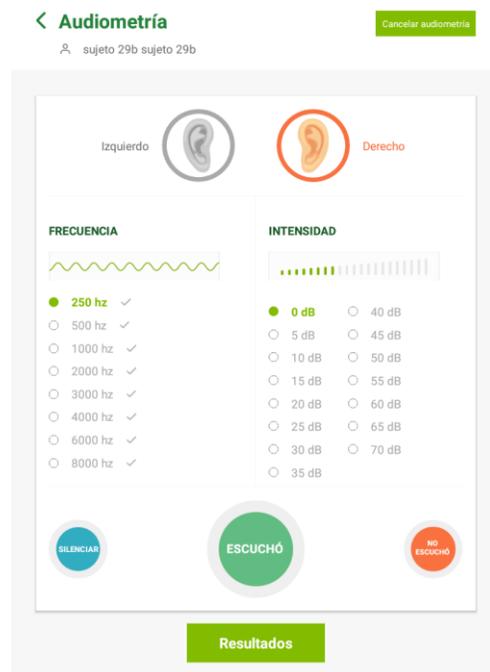


Ilustración 9 Vista de Sección audiometría oído izquierdo sin medición (imagen izquierda) y oído izquierdo completado (imagen izquierda)

Una vez que se realiza el procedimiento para ambos oídos pasando por todas las frecuencias indicadas anteriormente, aparece el botón Resultados en la parte inferior de la pantalla, donde se muestran las curvas de audición de cada oído del trabajador.

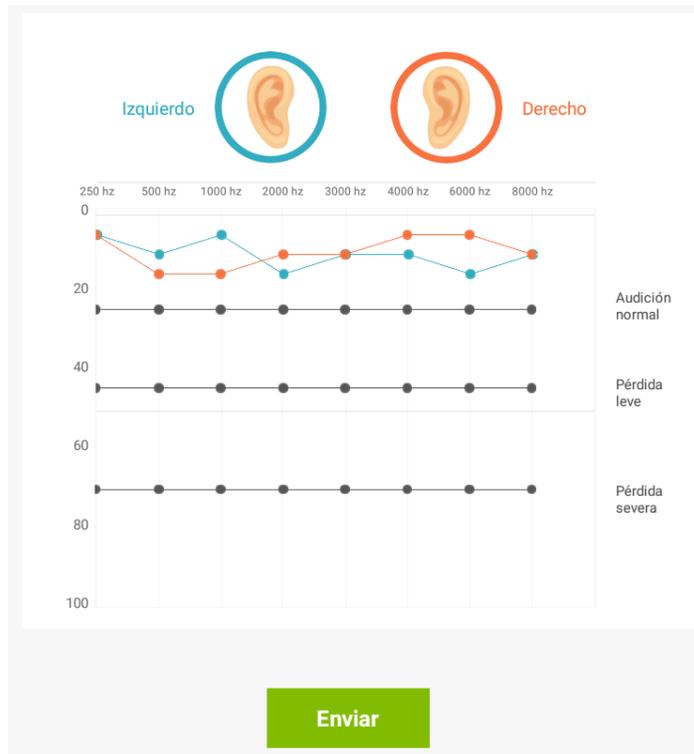


Ilustración 10 Vista Resultados de Audiometría

Sección Formulario Final: esta sección solo se habilita una vez que el trabajador completó las tres secciones anteriores. En ella se muestra la información de las secciones anteriores, y permite al trabajador/a de la salud ingresar información respecto una eventual derivación del trabajador a un centro de salud ACHS e ingresar la próxima evaluación del trabajador: 1 mes, 2 meses, 6 meses, u otro.

< **Formulario final** ≡

👤 Sebastián González

Ver ficha Ver examen físico Ver audiometría

Derivar al/la paciente a un centro ACHS

Si
 No
 Otro

Respuesta

Periodicidad de tiempo para evaluar al paciente

1 mes
 2 meses
 6 meses
 Otro

Respuesta

Enviar

Ilustración 3 Sección Formulario Final

La versión Beta de la aplicación Salud Auditiva se puede descargar de Play Store únicamente para dispositivos Android, ya que el desarrollo está pensado para el uso de Tablets. Mientras que la plataforma web se puede acceder por el link <https://auditiva.achs.nursoft.cl/>, utilizando las siguientes credenciales:

1. Email: admin@nursoft.cl
2. Contraseña: asdasd1234

Para más detalles ver Anexo 1 Estándar Arquitectura de Aplicación Salud Auditiva.

b. Análisis estadísticos desempeño Sistema 1 y Sistema 2 en condiciones experimentales

A continuación se presentan los resultados del análisis de desempeño del Sistema 1 (Tablet calibrada en Laboratorio ACHS) y Sistema 2 (Tablet con código copiado desde Sistema 1) para evaluar las diferencias entre ambos previo al testeo en terreno. Esta actividad se realiza en las dependencias del Centro de Investigación en Complejidad Social (CICS), en una sala con condiciones de ruido apropiada, evaluando a 5 participantes voluntarios.

Durante este procedimiento se realizó la audiometría con los dos sistemas a 5 participantes, codificados como: Sujeto 1, Sujeto 2, Sujeto 3, Sujeto 4 y Sujeto 5. Los datos se registraron en matrices de datos formada por las 8 frecuencias (250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 y 8000 Hz), en un rango de intensidades desde 0 a 50 dB. Es decir, 88 mediciones, para cada oído, en cada sistema (4 matrices de 88 puntos por sujeto).

Se hicieron mediciones hasta 50 dB, y no a mayor intensidad, pues los sujetos presentaron audición normal, y sonidos a mayor intensidad podrían generar molestias. El tiempo de evaluación fue de entre 40-60 minutos por cada sujeto. En este tiempo se indicaron las instrucciones de la actividad, se hizo las mediciones con cada sistema, y se conversó con cada participante para registrar observaciones y/o sugerencias respecto a la medición.

Durante esta actividad, los sistemas funcionaron bien de acuerdo a las instrucciones entregadas por Sebastián González de Nursoft, tanto en las conversaciones sostenidas como en el Manual de usuario de la aplicación (Anexo 3).

Reporte de resultados del análisis de la validación del Sistema 1 y 2

Se entregó los resultados de audiometría de cada sujeto al analista de datos, quien analizó los resultados bajo criterios estadísticos establecidos previamente (Anexo 4).

El resumen de resultados es:

	Izquierdo	Derecho
1	0,02350781	0,12341598
2	0,09182736	0
3	0,02203857	0,04315886
4	0	0
5	0	0

Se desea calcular un intervalo de confianza (IC) del error (donde el IC es la media del error). Es sabido que los IC son equivalentes a una prueba de hipótesis. En este caso, la prueba de hipótesis correspondiente es si la medida del error es (i) 0, o (ii) significativamente mayor que 0; es decir, la prueba de hipótesis es un test de una cola ($H_0 : \mu = 0$ vs $H_1 : \mu > 0$). Además, como la muestra es muy pequeña ($n=5$), se sugiere usar la prueba t de Student. El estadístico de prueba entonces es una t de Student con 4 grados de libertad, al nivel $\alpha = 0.005$, es decir $t = 2.132$ y el IC a calcular es:

$$IC = \left[\hat{\mu} - \frac{t\hat{s}}{\sqrt{n}}, \hat{\mu} + \frac{t\hat{s}}{\sqrt{n}} \right]$$

donde $\hat{\mu}$ y \hat{s} indican la media y desviación estándar de la muestra respectivamente. Los resultados son los siguientes:

- Oído izquierdo: IC=[-0,008505781, 0,063455276]
- Oído derecho: IC= [-0,01790798, 0,084537916]

Es decir, con un 95% de confianza el error estará entre esos rangos, para ambos oídos. Como el valor 0 pertenece a ambos IC, se concluye que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula $H : \mu = 0$.

Para nuestros efectos, esto implica decir que el Sistema 2 no tiene error o diferencia significativa respecto al Sistema 1, por lo que se podría usar en las pruebas. No obstante, el analista de estos datos recomienda que para una evaluación confiable y efectiva, se debería contar con una muestra más grande (esperable $n = 30$). Ciertamente, esto no es factible bajo la situación actual, pero esto se advierte con el ánimo de entregar resultados correctos.

c. Análisis estadísticos desempeño Sistema 1 y Sistema 2 en condiciones de terreno no experimental

A continuación se presentan los resultados del análisis de desempeño del Sistema 1 (Tablet calibrada en Laboratorio ACHS) y Sistema 2 (Tablet con código copiado desde Sistema 1) comparándolos con los resultados obtenidos por un audiómetro calibrado y normado por especialistas ACHS. Lo anterior se llevó a cabo durante el periodo diciembre 2018 y julio 2019, en 23 trabajadores de 3 empresas distintas asociadas a ACHS.

Para esta actividad, se coordinó previamente con especialistas ACHS las visitas a empresas, para acompañar el procedimiento habitual de tomas de audiometrías en los trabajadores. En efecto, una vez que los especialistas ACHS terminaban el examen de audiometría con un trabajador, el equipo lo invitaba a participar voluntariamente de la actividad, donde se le explicaba que los resultados obtenidos en el audiómetro normado se compararían con los obtenidos con el Sistema 1 y Sistema 2, con el fin de evaluar el desempeño de ambos dispositivos. Además, se hizo énfasis que esta actividad no correspondía en ningún caso a una evaluación médica, y que el tratamiento de los datos sería anonimizado, con el único objetivo de contrastar los resultados obtenidos. Lo anterior, se formalizó por medio de la entrega de dos copias de un documento de consentimiento informado a cada trabajador participante, acompañados de una caja de chocolates como agradecimiento por la participación en el estudio.

Reporte de resultados del análisis para validar los sistemas respecto al audiómetro

El resumen de resultados, de acuerdo a la fórmula expresada en la propuesta de validación estadística, es:

Sujeto	SISTEMA 1		SISTEMA 2	
	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho
1	0,012827988	0,0314966	0,08921283	0,0324587
2	0,115451895	0,06530612	0,08940719	0,03751215
3	0,03090379	0,01327502	0,02215743	0,03148688
4	0,016520894	0,01088435	0,01865889	0,01030126
5	0,087852284	0,07580175	0,12400389	0,0462585
6	0,030709427	0,06550049	0,05034014	0,05150632
7	0,082993197	0,06452867	0,06433431	0,06452867
8	0,028571429	0,04450923	0,02857143	0,07463557
9	0,111564626	0,07774538	0,1148688	0,08202138
10	0,020602527	0,03187561	0,05325559	0,03206997
11	0,009912536	0,03984451	0,00991254	0,01341108

12	0,064334305	0,01496599	0,02934888	0,02040816
13	0,024878523	0,01943635	0,02721088	0,01943635
14	0,026822157	0,0361516	0,02993197	0,02060253
15	0,019825073	0,01946356	0,01982507	0,0223518
16	0,060447036	0,06258503	0,06744412	0,02623907
17	0,053061224	0,03090379	0,05306122	0,03090379
18	0,042759961	0,03556851	0,04586978	0,05500486
19	0,025655977	0,04995141	0,06608358	0,09271137
20	0,075218659	0,04178814	0,11409135	0,04878523
21	0,185034014	0,09154519	0,10923226	0,09154519
22	0,084353741	0,05344995	0,10301263	0,05811467
23	0,04548105	0,0180758	0,04548105	0,01827017

Las estadísticas para ambos sistemas y para ambos oídos, se resumen en la siguiente tabla:

	S1 Izquierdo	S1 Derecho	S2 Izquierdo	S2 Derecho
Promedio	0,054599231	0,04324579	0,05979634	0,0426332
Desviación estándar	0,042317743	0,02295886	0,03561351	0,02492821

Para el análisis se quiere contrastar la siguiente hipótesis estadística:

$$H_0: \mu = 0 \text{ vs } H_1: \mu > 0$$

Al 95% de confianza, estos son los valores resumen, suponiendo una distribución t de Student con $n-1=22$ grados de libertad y una distribución normal:

T de Student	S1 izquierdo	S1 derecho	S2 izquierdo	S2 derecho
Cota inferior intervalo de confianza del error	0,039447782	0,03502559	0,04704528	0,0337079
Cota superior intervalo de confianza del error	0,06975068	0,05146598	0,0725474	0,0515585

Normal	S1 izquierdo	S1 derecho	S2 izquierdo	S2 derecho
Cota inferior intervalo de confianza del error	0,037304467	0,03537075	0,04758069	0,03408267
Cota superior intervalo de confianza del error	0,06911448	0,05112082	0,072012	0,05118373

En ambos casos se observa que $\mu_0 = 0$ no pertenece a ninguno de los intervalos de confianza, por lo que se rechaza la hipótesis. Es decir, hay suficiente evidencia estadística para afirmar que las mediciones entre el audiómetro y los sistemas de las Tablet difieren.

Además, si se asume un 99% de confianza para hacer los intervalos de confianza más grandes, las cotas inferiores en ambos casos no bajan del 2.9% del error:

99% confianza	S1 izquierdo	S1 derecho	S2 izquierdo	S2 derecho
Cota inferior con t de Student	0,03246634	0,03123792	0,04116988	0,02959533
Cota inferior con distr. normal	0,03407493	0,03211063	0,04252363	0,03054291

Por lo tanto, dados los datos y los resultados, el analista de este análisis no recomienda usar los Tablet como sistema que remplace al audiómetro en las audiometrías debido a su error.

No obstante, si la lógica de proyecto asume aceptable un error de alrededor de un 5% (el promedio de los errores en los dos oídos y ambos sistemas es prácticamente un 5%), podrán usar la aplicación asumiendo el riesgo de una mala medición, por ende, de una mala evaluación a los trabajadores. Se debe notar que las diferencias entre el audiómetro y la aplicación se encuentran en los decibeles más bajos.

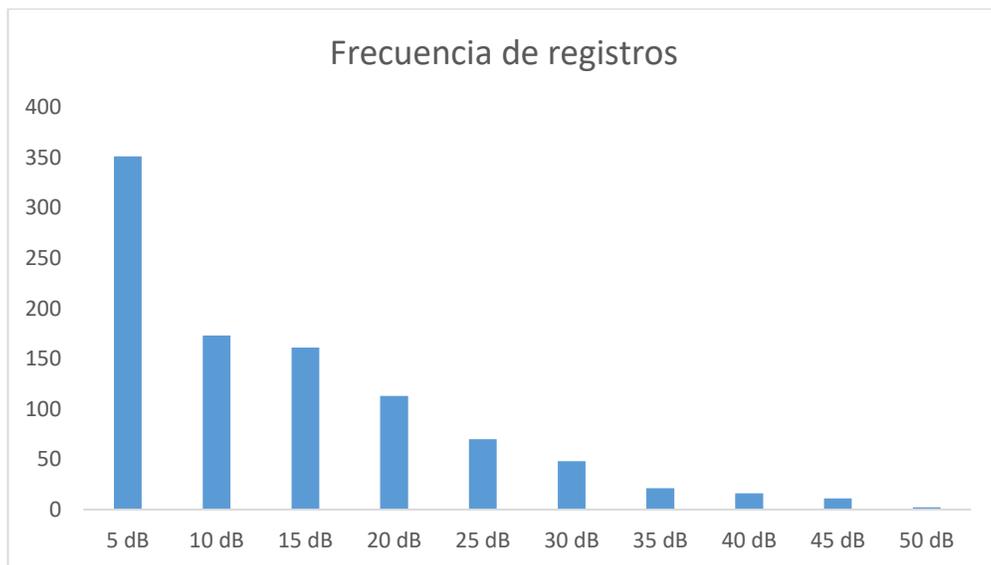
Si hay que elegir alguno de los dos sistemas, no hay mucha diferencia (recordar que ya fue validado anteriormente el Sistema 2 respecto al 1); para el oído izquierdo se ajusta mejor el Sistema 1 (mínimo error de 3.2% vs 4.1% asumiendo Student, o 3.4% vs 4.2% asumiendo normal), mientras que para el oído derecho se ajusta mejor el Sistema 2 (3.1% vs 2.9% en Student, 3.2% vs 3.1% en normal, respectivamente 1 y 2). Ciertamente, dado que la diferencia entre los Sistemas 1 y 2 en el oído derecho oscila entre 0.1% y 0.2%, es preferible el Sistema 1 debido a que el margen de casi un 1% de error es notorio, y además se sabe que está calibrado correctamente.

¿En qué rangos de intensidad las aplicaciones se ajustan bien?

Agrupando los datos del error de todas las frecuencias y promediándolas para cada individuo y para cada rango de intensidad, el resultado para toda la muestra (promedio y desviación entre todos los individuos) es el siguiente:

sistema 1		5 dB	10 dB	15 dB	20 dB	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	55 dB	60 dB	65 dB	70 dB
izquierdo	promedio	0,75776398	0,57142857	0,35403727	0,1863354	0,11180124	0,08695652	0,05590062	0,01242236	0,00621118	0	0	0	0	0
	desv. est.	0,21291676	0,24743583	0,21907871	0,17461743	0,16091414	0,12733264	0,08328963	0,04115772	0,02978777	0	0	0	0	0
derecho	promedio	0,24223602	0,45962733	0,44720497	0,29192547	0,16149068	0,0310559	0,01863354	0,02484472	0	0	0	0	0	0
	desv. est.	0,33484907	0,23574979	0,20793332	0,20421469	0,14481994	0,06024874	0,06538523	0,0701466	0	0	0	0	0	0
sistema 2		5 dB	10 dB	15 dB	20 dB	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	55 dB	60 dB	65 dB	70 dB
izquierdo	promedio	0,76397516	0,59006211	0,34782609	0,19254658	0,13664596	0,08074534	0,05590062	0,02484472	0	0	0	0	0	0
	desv. est.	0,23437714	0,27682385	0,20123038	0,17017232	0,17484826	0,15425978	0,11181693	0,0701466	0	0	0	0	0	0
derecho	promedio	0,31055901	0,47826087	0,42857143	0,27329193	0,14906832	0,03726708	0,02484472	0,00621118	0	0	0	0	0	0
	desv. est.	0,39395284	0,28768378	0,25115688	0,21063137	0,14592969	0,06413968	0,05536477	0,02978777	0	0	0	0	0	0

Se podría decir que desde los 50 dB los sistemas no tienen error, pero esto es una conclusión apresurada, ya que son sonidos de alta intensidad. Además, en los registros experimentales, el máximo valor al que un trabajador levantó su mano es 50 dB (solo en dos ocasiones se evaluó este valor). El otro valor tentativo es 45 dB, donde se registraron 11 casos donde un trabajador levantó su mano en esta cifra. En esa intensidad, los sistemas se ajustan casi perfectamente, solo difiriendo en el Sistema 1 en el oído izquierdo, con 0.6% de error promedio. Ver histograma de frecuencia de los registros en la imagen a continuación:



Por lo tanto, el rango comparable son las intensidades menores a 50 dB, y dadas las tablas, los errores en promedio son altos para las intensidades más bajas y por tanto no se puede recomendar el uso de la aplicación. En el rango de 40 dB ambos sistemas y ambos oídos arrojan en promedio un 1.7% de error; es decir, se podría usar los sistemas sólo si se usara en trabajadores con pérdida de audición en donde escuchen sonidos desde los 40 dB, asumiendo ese margen de error.

d. Resultados de la evaluación cualitativa de la aplicación

Con el objetivo evaluar la usabilidad de la aplicación, se realizaron 6 entrevistas a los profesionales de la salud participantes del terreno desarrollado en este proyecto, instancia en la cual se testeó la sección de audiometría de la aplicación Vigilancia Auditiva en condiciones no experimentales, y se comparó su desempeño con los resultados obtenidos con el audiómetro normado.

Para lo anterior, se entrevistó a los profesionales de la salud previamente a las mediciones audiométricas con los trabajadores, con el fin de explicarles el proyecto, mostrarles la aplicación y sus componentes, y levantar sus percepciones y sugerencias respecto la tecnología desarrollada.

La estrategia de recolección de información se realizó por medio de una pauta de preguntas semi- estructurada, dividida en dos temas bajo los cuales se realizó el posterior análisis: evaluación de las características de la aplicación y beneficios de la aplicación.

Sobre la evaluación de las características de la aplicación

En términos generales, la aplicación fue bien recibida por los profesionales de la salud, quienes la calificaron de manera positiva, valorándola como una herramienta útil, buena, de fácil uso. Al encontrarse instalada en un Tablet de pantalla de 10", manifiestan que resulta cómoda su manipulación, y el ingreso de información, así como la organización de ésta y las secciones en las que está dividida. No hubo mayores comentarios respecto la gráfica y el diseño, indicando que estaba bien ya que cumplía con los estándares típicos de una aplicación.

La posibilidad que ofrece la herramienta de registrar la información de los trabajadores en el Tablet y que ésta quede inmediatamente almacenada es valorado por los profesionales. Se reconoce como un aspecto positivo ya que permite evitar el traspaso de la información recolectada manualmente en terreno al computador, lo que implica inversión de tiempo importante exclusivo para esta tarea. No obstante, algunos de los entrevistados manifestaron algún tipo de resistencia al verse enfrentados a escribir en el Tablet, ya que no se sienten cómodos al tener que digitar en la pantalla táctil por un tema de costumbre. Sienten que es más rápido escribir la información con lápiz y papel para luego transcribirlo en el computador, pero que se puede deber a que no son nativos digitales y que tendrían que practicar en el Tablet para que esta tarea se vuelva más sencilla.

Respecto a los componentes de la aplicación, los entrevistados valoraron positivamente que se hayan incluido todos los campos de información de las fichas normadas utilizadas

en el proceso de vigilancia auditiva. Particularmente en la sección Ficha Epidemiológica se indicó que el campo Teléfono Coordinador de la Empresa no es relevante, porque si bien es parte de los campos de información de la ficha oficial, se tiende a dejar en blanco por desconocimiento de los trabajadores. Lo mismo ocurre con el campo de información Consumo de Alcohol: en la práctica se tiende a dejar en blanco ya que los trabajadores no dan esta información, o por un sesgo de deseabilidad social, tienden a decir que no beben bebidas alcohólicas. De manera complementaria, los profesionales de la salud indican que sería interesante añadir un campo relativo a la nacionalidad de los trabajadores, debido a la reciente incorporación de trabajadores migrantes en las empresas. Si bien este es un campo de información que no aparece en las fichas oficiales del ciclo de vigilancia auditiva, podría resultar útil contar con profesionales de la salud que manejen la lengua en creole para poder realizar el procedimiento de evaluación auditiva de forma más efectiva con trabajadores de origen haitiano que no manejan bien el español.

Por otra parte, existe interés de los profesionales de la salud que la información de identificación personal de los trabajadores esté pre ingresada en cada ficha de los individuos que aparece en el Tablet, de modo que los profesionales de la salud puedan revisarla y editarla en terreno en caso de ser necesario, y con ello, escribir menos en el Tablet. Lo anterior sería posible ante la eventual vinculación de la base de datos de la aplicación con el sistema SAP de ACHS.

En la sección de la aplicación donde se aprecia la nómina de trabajadores asignados a evaluar, los cuales pueden ser clasificados en 4 estados posibles: por evaluar, en evaluación, evaluados, y cancelados, los profesionales de la salud indican la importancia de contar con la opción de *agregar* en terreno a nuevos trabajadores a la lista de individuos a evaluar. La razón de esto se debe a que, en la práctica, suele ocurrir que la nómina de trabajadores asignados difiere de la lista de trabajadores que se presenta personalmente para las evaluaciones. En ocasiones algunos trabajadores no se presentan porque dejaron de pertenecer a la empresa, ya sea por despidos, renuncias, o por fallecimiento. En su defecto, se presentan a la evaluación los nuevos trabajadores que los reemplazan en el puesto de trabajo, o simplemente otros trabajadores incorporados recientemente.

En cuanto a la sección que emula el funcionamiento del audiómetro, en términos generales la recepción de los profesionales de la salud fue positiva y el entendimiento de su uso fue rápido, ya que tiene la misma lógica operativa que el audiómetro normado. En este punto se hicieron dos comentarios respecto a los rangos de frecuencias e intensidad existentes en la aplicación. En la práctica, nos indicaron, los 250 Hz no se evalúan, por lo que se recomienda comenzar a evaluar desde los 500Hz. Además, uno de los entrevistados recomendó calibrar la aplicación incluyendo intensidades hasta los 120 dB.

Se visualiza como una aplicación útil para los encargados del tema de prevención y gestión de ruido dentro de las empresas, en la medida en que funciona como una herramienta que

Sobre los beneficios de la aplicación

En términos generales se considera beneficioso el desarrollo de esta aplicación pues se evidencia que su construcción y diseño fue dirigido en base a las necesidades y las tareas que realizan los profesionales de la salud, ajustándose al protocolo de implementación que realizan en terreno. Se considera beneficioso en la medida que su uso podría ayudar a disminuir el tiempo total de la evaluación ya que se evitaría la transcripción de los datos de los trabajadores posteriormente al terreno. Sin embargo, ante la pregunta de si se estaría dispuesto a ocupar esta aplicación, existe una leve resistencia ya que los entrevistados manifiestan que el procedimiento actual que ellos realizan en terreno demora poco tiempo y lo hacen de la forma más eficiente posible.

Además, el desempeño de la medición audiométrica mediante la aplicación en Tablet genera controversia ya que, al momento de la entrevista, se desconoce el porcentaje de error de la medición en ambos dispositivos. Ante la pregunta de cuál es el porcentaje de error aceptable para la aplicación, el margen indicado ronda el 2,5%.

Limitaciones, posibilidades de mejora y escalamiento

Buscando contribuir en la profundización de tecnologías de innovación que permitan mejorar la gestión de acciones de diagnósticos y prevención oportuna de la hipoacusia ocupacional, se creó la aplicación Vigilancia Auditiva junto a una plataforma web de administración de información que cumpliera con las expectativas de los expertos en la gestión de vigilancia y prevención de la salud asociada al ruido ocupacional. Sin embargo, el proceso de desarrollo de este proyecto, particularmente en la sección que emula el funcionamiento del audiómetro, estuvo enfrentado a diversas dificultades técnicas que pueden haber influido en el porcentaje de error de un 5% de los Sistemas 1 y 2, al compararlos con los datos obtenidos por un audiómetro normado en el trabajo de campo. Entre las dificultades y limitaciones que es necesario tener en cuenta se encuentran:

-Inestabilidad del sistema: durante el proceso de calibración del Sistema 1 se evidenció una constante inestabilidad reflejado en la medición de la linealidad de las frecuencias e intensidades. Se evidenció que algunas intensidades eran más inestables que otras, y no se pudo encontrar un criterio o razón que explicara esto. Lo anterior puede repercutir que la aplicación y los sonidos almacenados en ella se descalibre durante su uso en terreno.

-Ruido del procesador: se detectó que cada Tablet emite un ruido eléctrico basal interno debido al funcionamiento de su procesador, lo cual puede estar influyendo en el sonido que se emite por los audífonos, y por ende en el porcentaje de error del desempeño de la sección que emula un audiómetro.

-Tal como se mencionó en el informe, para la conformación de los sistemas se utilizaron audífonos marca Telephonics, código TDH39, que tienen 2 conexiones plug de 6,3 (una para cada oído), las cuales se conectan en el audiómetro normado correctamente. Mientras que el Tablet tiene solo una entrada de 3,5, por lo que fue necesario la fabricación de adaptadores hechos a medida para conectar el sistema completo. Sin embargo, durante el trabajo de laboratorio se evidenció que al conectar el adaptador derecho con la conexión derecha del audífono, no se emitía el sonido por el audífono sino que éste salía por los parlantes del Tablet. Se piensa que puede haber una falla en la fabricación del adaptador, lo cual se solucionó utilizando únicamente el adaptador izquierdo tanto para la conexión del audífono izquierdo como para el derecho, de forma alternada. Y se anuló el adaptador derecho tapándolo con una cinta para evitar su uso por error.

-Si bien la aplicación en Tablet no requiere de conexión a internet para su funcionamiento en terreno, es necesario conectarse a internet para que se actualice la información de la nómina de trabajadores ingresados por el usuario en la Plataforma web de administración y gestión de la aplicación. Con ello, también es necesario conectar el Tablet a internet

posterior a un terreno, para que se suban a la base de datos la información recopilada con los trabajadores.



Ilustración 11 Audífonos y adaptador

-Para la realización de la audiometría con el Tablet, es necesario siempre verificar el nivel de volumen multimedia del Tablet, ya que por defecto al conectar los audífonos a éste se baja a la mitad, como ocurre con la mayoría de los Tablet y Smartphone. Para el correcto funcionamiento de la aplicación es necesario subirlo al máximo.

Entre las posibilidades de mejora de aplicación se encuentra mejorar la conexión entre los audífonos y el Tablet con un adaptador. Una posibilidad que se evaluó para este proyecto fue la de cortar el cable de los audífonos y conectar directamente un adaptador minu plug que calzara con la entrada de sonido del Tablet. Sin embargo, como los audífonos comprados son normados y de alto valor, no se quiso correr el riesgo de intervenirlos.

Otro punto a mejorar en una eventual continuación del proyecto es la entrega de resultados al trabajador, que incluya la firma digital o algún comprobante de recibo conforme digital de los resultados.

Conclusiones

En este proyecto de investigación y transferencia tecnológica se buscó contribuir en la profundización y desarrollo de tecnologías de innovación que permitan mejorar la gestión de diagnósticos y prevención oportuna de la hipoacusia ocupacional. En consecuencia, se desarrolló una aplicación y una plataforma web de administración de información para mejorar la eficiencia en la gestión de vigilancia y prevención de la salud asociada al ruido ocupacional. La primera, está instalada en dos Tablets que junto audífonos y adaptadores específicos y no intercambiables, conforman los Sistemas 1 y 2 para la realización de audiometrías en terreno. Esta herramienta creada para ayudar en su trabajo a los profesionales de la salud, está compuesta por 4 secciones: sección equivalente a la Ficha Epidemiológicas e Historial Ocupacional, sección para el ingreso datos del examen físico, sección emulador de audiómetro, y sección de resultados de todo el proceso. De esta forma, la aplicación permite registrar los datos específicos de cada trabajador en el mismo Tablet, lo cual queda inmediatamente almacenado y sistematizado en una plataforma de administración de la información, evitando incurrir en tiempo extra para la digitación de éstos tal como ocurre en la actualidad. Esta última –la plataforma- también sirve para gestionar y programar visitas de evaluación, asignando empresas con su respectiva nómina de trabajadores a profesionales de la salud para la realización de audiometrías en terreno.

Es importante señalar que la sección del Tablet que emula a un audiómetro normado fue desarrollado en dos sistemas instalados en Tablets distintos, donde el Sistema 1 fue programado y calibrado en un completo proceso en el laboratorio, verificando 4 mediciones obligatorias específicas: nivel auditivo, frecuencia, linealidad, y distorsión armónica. Por su parte, la sección del audiómetro en el Sistema 2 se construyó a partir de la copia de código del Sistema 1, sin su posterior calibración.

Ambos sistemas fueron posteriormente evaluados en 5 sujetos voluntarios, donde se concluyó que no existe diferencia significativa entre el desempeño de ambos sistemas: Sistema 1 calibrado y Sistema 2 con código copiado. Lo anterior, permitió ir a testear en terreno ambos sistemas, comparando sus desempeños con los resultados de un audiómetro normado. Las aplicaciones se llevaron a cabo en 23 sujetos pertenecientes a 3 empresas con exposición a agentes de ruido en sus lugares de trabajo. El análisis arrojó alrededor de un 5% de error de ambos Sistemas respecto los resultados de un audiómetro normado. Por lo cual, se recomienda tener en consideración el nivel de error analizado para su eventual uso en trabajadores.

Si bien la sección que emula un audiómetro presentó niveles de error significativos respecto el audiómetro normado, se cree que el uso de las otras secciones de la aplicación pueden aportar en la disminución del tiempo total incurrido en las evaluaciones realizados por los profesionales de la salud. Además, si posteriormente se opta por vincular la plataforma de

administración de la información con los sistemas internos de ACHS, sería posible nutrir tanto la aplicación como la plataforma con información basal de cada trabajador, de modo que el profesional de salud solo tendría que actualizar o editar la información recopilada en terreno por medio del Tablet.

Entre los desafíos que se desprenden luego del desarrollo de esta investigación, se puede mencionar el continuar con la evaluación del desempeño de la sección audiometría en Tablet intentando abarcar un N mayor a 30 individuos. Con ello, también resulta crucial pensar cómo disminuir el error obtenido (5% aproximado a un 95% de nivel de confianza), mediante una reformulación en la conformación de los Sistemas: ya sea por medio de la intervención directa en el cable del audífono, uniéndolo con un adaptador compatible con la entrada del Tablet, y/o buscar otro modelo de Tablet que tenga un procesador más silencioso.

Se espera que la aplicación Vigilancia Auditiva y su perfeccionamiento, sirva como un aporte para mejorar la eficiencia en el proceso de vigilancia, mejorando la experiencia de trabajo de los profesionales de la salud, con la finalidad de que estos puedan aumentar la cobertura de seguimiento a trabajadores y agilizar el proceso de toma de examen para la oportuna detección y prevención de enfermedades de hipoacusia laboral.

Bibliografía

- Ministerio de Salud Gobierno de Chile. (2011). Protocolo de Exposición Ocupacional a Ruido.
- Superintendencia de Seguridad Social CHILE. (2018). Informe anual 2017 Estadísticas sobre Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Superintendencia de Seguridad Social. (2018). Informe Anual 2018 Estadísticas sobre Seguridad Social y Salud en el Trabajo.
- Organización Mundial de la Salud. (2019). Sordera y pérdida de la Audición: datos y cifras 2019. Recuperado el julio de 2019, de Notas descriptivas OMS: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
- Gutiérrez, H. y. (2006). Hipoacusia inducida por ruido: estado actual. Revista cubana médica militar.
- Comisión Asesora Presidencial para la Seguridad en el Trabajo. (2010). Informe Final Seguridad en el Trabajo.
- División de Políticas Públicas Saludables y Promoción Departamento de Salud Ocupacional. (2011). Protocolo de Exposición Ocupacional a Ruido (PREXOR). Santiago.
- Instituto de Salud Pública de Chile. (2017). Guía Técnica para la Evaluación Auditiva de Vigilancia de la Salud de los Trabajadores Expuestos Ocupacionalmente a Ruido, versión 2.

Anexos

Anexo 1 Estándar Arquitectura de Aplicación Salud Auditiva

Anexo 2 Instrucciones Procedimiento Audiometría

Anexo 3 Manual de Usuario Aplicación Salud Auditiva

Anexo 4 Propuesta Validación Sistema 1 y 2

Anexo 5 Datos audiometría de trabajo de campo